

当代技术哲学前沿研究丛书

吴国林 主编

量子技术哲学

LIANGZI JISHU ZHEXUE

吴国林 著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

当代
国家

教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(11JZD007)

量子技术哲学

LIANGZI JISHU ZHIXUE

吴国林 著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

量子技术哲学/吴国林著. —广州: 华南理工大学出版社, 2016. 5
(当代技术哲学前沿研究丛书)
ISBN 978 - 7 - 5623 - 4792 - 7

I. ①量… II. ①吴… III. ①量子论 - 技术哲学 IV. ①O413 - 05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 028724 号

量子技术哲学

吴国林 著

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http: //www. scutpress. com. cn E-mail: scutc13@scut. edu. cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

总 策 划: 乔 丽

策划编辑: 王 磊

责任编辑: 王 磊

印 刷 者: 广州家联印刷有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16 印张: 22.5 字数: 479 千

版 次: 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 1 000 册

定 价: 66.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

总序

自近代以来，直接具有重要显示性的东西，莫过于技术。谁掌握和创造出先进技术，谁就拥有先机和竞争优势。无疑，现代技术离不开现代科学，现代技术中流淌着理性因素。中国曾经拥有令人鼓舞的“四大发明”，但是，这种基于经验的技术制品，直到19世纪并没有取得实质的推进，以至于到了中日“甲午海战”时，清朝海军所使用的自制开花弹中所填充的火药，还是原来那个“火药”，本质上没有改变。20世纪时，日军凭借什么侵略中国？除了日本经过明治维新、日军训练更为正规之外，更直接的一个因素，就是它拥有的枪炮与飞机等技术产品是先进的，而中国自身的制造能力很差，中国的许多技术产品需要进口，于是乎才有许多带“洋”字的称呼，如“洋火”“洋油”“洋钉”等，这些称呼，一直延续到新中国初期，甚至二十世纪六七十年代的农村还这么称呼。其根本原因是，民国时期的工业基础太薄弱，技术水平太差。

新中国成立之后，中国共产党和中国政府高度重视科学技术工作，通过科学技术发展改变中国贫穷落后的面貌。毛泽东总结了世界各国科学技术发展的经验，指出：“资本主义各国、苏联，都是靠采用最先进的技术，来赶上最先进的国家，我国也要这样。”^①为了捍卫国家的独立和安全，毛泽东果断提出，我们“要下决心，搞尖端技术。外国有的，我们要有；外国没有的，我们也要有”^②。因为“今天这个世界上，我们要不受人家欺负，就不能没有这个东西”^③。到20世纪70年代，中国已建立了完整的工业体系。那时，不仅能自己生产必要的日常生活用品，而且也能生产汽车、轮船等，还能生产一些高技术产品，比如飞机、“两弹一星”等。

改革开放以来，当代中国发生了巨大变化。沿海的一些农村已变成了现代工业区，能生产非常先进的技术产品。正是这些巨大的进步，促进了中国经济与科学技术的快速发展，我国总的经济规模排位升至世界第二；就广东一个省的经济生产总值来看，早已超过原来“四小龙”中的中国香港、新加

① 中共中央文献研究室：《毛泽东文集》（第8卷），人民出版社1999年版，第126页。

②③ 中共中央文献研究室：《毛泽东文集》（第8卷），人民出版社1999年版，第351页。

坡和中国台湾，到 2013 年底，广东省成为内地首个生产总值超 6 万亿元人民币的省份；按年均汇率计算，也首次突破 1 万亿美元。根据世界银行关于全球 2012 年 GDP 的统计数据，全球 GDP 超过万亿美元的国家共有 15 个，包括美国、中国、日本、德国、法国等。而广东一个省的生产总值就直追排第 15 位的韩国（1.13 万亿美元）和第 14 位的墨西哥（1.18 万亿美元）。

之所以做上面的陈述，是因为面对中华民族正在实现伟大复兴的重大历史时期，中国的技术哲学必须有所作为。中国的技术哲学也必须从一个角度来阐明，为什么国外发达国家有先进的技术，而我们还缺乏核心技术和先进技术，在许多方面“技”不如人。

为此，我们还需要了解一下技术哲学的发展历程。

1877 年德国卡普（E. Kapp, 1808—1896）出版了《技术哲学原理》（*Grundlinien einer Philosophie der Technik*），标志着技术哲学的诞生。

但是，技术哲学的建制化是缓慢的。美国技术史学会（1958 年成立）的《技术与文化》杂志于 1966 年出版“走向技术哲学”（*Toward Philosophy of Technology*）专辑。1978 年，美国正式成立“哲学与技术学会”（*Society for Philosophy and Technology*）。1978 年第 16 届世界哲学大会确认技术哲学为一门新的哲学分支学科。从此，技术哲学的学科建制开始逐渐建立起来。

无疑，西方技术哲学的研究取得了一定的成果，但是，并没有形成技术哲学特有的研究范式。正如德国技术哲学家拉普所说：“尽管技术哲学已有长足的进步，但是不用说公认的范式，就连严密的技术哲学理论也还不过是一种要求，并未成为现实。”^①在其他哲学家看来，技术哲学并没有成为传统哲学的一员，而是游离于主流哲学之外，甚至技术哲学并不被认为是“哲学”。

20 世纪 50 年代，是我国技术哲学的初创阶段。从 20 世纪 80 年代初开始，对技术哲学有了较大规模的研究，但尚未把技术哲学作为一门哲学学科来建立，此阶段有关技术哲学的研究较为单一，多为低水平重复。技术哲学工作者大多是半路出家，缺乏严格的哲学训练。总体而言，我国技术哲学研究落后于发达国家。

100 多年来，技术哲学并没有像科学哲学那样“哲学”起来，还没有在一个技术研究纲领下进行更细致的推进和深入研究，形成在一个研究纲领或研究范式下的技术哲学的理论系列，其中一个重要原因就是研究方法。

我们认为，必须改变原有的技术哲学研究方法。这就如近代科学之所以诞生，一个重要因素就是伽利略所倡导的数学方法和实验方法一样。科学哲

^① [德] F·拉普著，刘武等译：《技术科学导论》，辽宁科学技术出版社 1986 年版，英译本序言，第 2 页。

学之所以在 20 世纪得以成为有影响力的学科，其中逻辑经验主义功不可没。

因此，技术哲学的发展需要我们改变和超越原有的研究方法。而分析的技术哲学^①的兴起就是为了克服原有技术哲学存在的困难，它提供了这样的可能性。

与中国追求核心技术的国家发展战略相适应，中国当下的技术哲学研究，重点不在于对技术进行批判，而在于搞清楚技术是什么，以及在此过程中形成的独特技术设计与技术方法等，这种意义上的技术哲学需要有分析精神，即研究技术的要素、结构与功能，研究它们之间的关系等。分析技术哲学必然弘扬分析方法和分析精神。

本套丛书力图在当代技术哲学的前沿展开研究，希望对技术哲学的重要“问题”有所推进。讨论中所涉及的主题有量子技术、信息技术、技术介入、技术设计、技术模型等方面，并且探讨一般的分析技术哲学的研究框架。对技术哲学的整体与重要分支、宏观与微观展开细致的研究，有助于构建技术哲学的哲学传统。

“日出江花红胜火，春来江水绿如蓝。”华南理工大学科学技术哲学研究中心致力于对技术本身展开的分析，构建分析技术哲学体系。编写这套丛书的确有相当难度，在我看来，有难度的东西，才有一定的价值。试想一下，一个东西太容易得到，其价值就不大了。

尽管如此，我们知“难”而进，秉持学术标准，倾力为技术哲学做一点我们自己的贡献，以无愧于这一伟大时代。当然，能否达到或走向这一目标，还请研究者与读者批评指正和见证。

本套丛书得到教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“当代技术哲学的发展趋势研究”的赞助。

最后，我想用自己的一首小诗《分析技术哲学纪行》作为结束语：

空山新雨长河边，技物哲析本原还。
水穷坐爱孤烟直，树杪百泉万重山。

吴国林

2015 年 10 月 15 日

① 为方便，“分析的技术哲学”（Analytic Philosophy of Technology）统称为“分析技术哲学”。

前言

子曰：“由！诲女，知之乎？知之为知之，不知为不知，是知也。”

——《论语·为政》

通常的技术是经典技术，它们能够在经典科学（如经典物理学等）的框架中得到理解。然而量子技术具有不同的特点，它不可能在经典科学的框架中得到认知。由量子力学与信息科学的结合产生了量子信息技术。器件的设计、制造、生产都在量子力学规律的统摄之下，它利用量子科学的规律来组织和控制微观系统的结构和功能。兴起于20世纪末的量子信息技术，将量子理论的研究与应用提升到一个新的水平。量子技术是基于量子科学与量子信息理论的技术。

随着量子技术的兴起，呈现出不同于经典技术与量子力学的哲学问题，或者是同一问题呈现出新的研究视野。EPR关联从佯谬变成一个量子力学的事实，由此产生了正在开发和应用的量子技术。量子技术是20世纪90年代才逐渐形成的高技术，是基于量子力学的技术，它远不同于过去的经典技术，是第二次量子革命的标志。量子技术的哲学研究主要是针对量子技术的核心和关键问题展开深入系统的哲学分析和探索。

国外很早直接对量子技术展开哲学研究，但研究的论文和著作很少，主要有两个研究角度：①直接研究量子技术的哲学意义。牛津大学的著名学者 Deutsch（2003）首先从哲学与量子计算机相结合的角度来讨论量子技术。Dowling 与 Milburn（2003）提出了第二次量子革命，简要分析了一些量子技术的意义。②从量子技术的角度审视量子力学，揭示出技术与科学之间关系的新前景，即以技术来评价量子力学的诠释是否适当。荷兰学者 Vermaas（2005）与 Muller, Seevinck（2007）在著名的《不列颠科学哲学杂志》（*The British Journal for the Philosophy of Science*）就“标准量子力学是否是技术适当的”展开了论争，这是第一次将技术与量子力学的解释关联起来。

国内对量子技术的哲学研究起步较晚，相应的论文和著作很少，主要是从一般层次对量子技术、量子信息技术和量子控制技术进行的哲学研究，还

没有按照技术哲学的规范展开深入研究。量子技术的哲学研究也没有引起国内哲学社会科学杂志的注意。

可见，目前国内外的研究状况是，量子技术的哲学研究处于萌芽阶段，“量子技术”作为独立的哲学研究尚未受到应有的重视，研究的层次较浅、范围较窄，没有从实在论、认识论角度，以及量子技术与社会关系的角度展开研究，更没有形成量子技术哲学的特有概念、范畴和理论范式，亟待对量子技术作系统和深入的哲学研究。

量子技术哲学研究有如下意义。第一，回应量子技术的影响，推进技术哲学的基础理论研究。第二，为科学哲学、技术哲学和量子信息哲学提供新的研究思路。从量子技术哲学角度分析量子力学的基本问题，诠释量子力学的本质，对量子力学测量、量子信息等问题做更深入的理解和论证。

量子技术哲学正成为一个吸引子，正在形成自己的话语、概念体系、理论结构等。本书有关量子技术的哲学研究主要涉及以下问题：

量子技术哲学就是对量子技术的根本问题进行的哲学反思。在哲学反思中，可以用分析哲学方法，也可以用现象学方法，还可以用辩证法。由于量子技术不同于经典技术，因此，量子技术哲学必然会产生不同于原来技术哲学的新问题或者对老问题的新探索。量子技术必然要基于量子力学和量子信息理论，因此，量子技术哲学与量子力学哲学和量子信息哲学有一些交叉，但量子技术哲学将超越它们自己独特的话语体系。目前，量子技术哲学还处于初创阶段，因此，本书对有关问题的讨论仍然是摸索性的。

本书对量子技术哲学的研究包括十六章，主要有以下内容：

第一章简要介绍量子力学与量子信息论的一些基本知识，主要是为了奠定知识基础。具体包括量子力学的基本假设、量子力学的测量理论和量子信息理论等，在数学方面介绍了状态空间与狄拉克表示法、群、李代数、流形等概念。在量子信息论中，特别讨论了量子隐形传态、量子纠缠交换、开放目的隐形传态等物理过程，它们都是理解量子技术的基础。没有这个基础，量子技术将无法得到理解。

第二章着重对量子信息的一些争论问题展开讨论，其中包括量子信息能否归结为经典信息，量子信息的传递能否归结为经典信息的传递，是否有本体论意义上的量子信息，以及量子信息与量子实在的关系。

第三章讨论量子技术的基本形式，对量子技术与经典技术进行比较，简要讨论量子技术的两个哲学问题：一个是量子技术是不是自主的；另一个是量子技术与控制的关系，量子控制在量子技术中居于重要地位。

第四章是对量子技术的具体内容与形式进行展现。量子计算具有超越经典计算的许多优越性，如真正的平行性、迭加性、整体性、非定域性与纠缠

性等，且能够克服某些经典的指数复杂性等。量子计算能够克服某些经典复杂性，这给我们提出了一个问题：客观世界究竟是本体论复杂，还是认识论复杂？

第五章讨论非定域与因果关系问题。量子世界中有非定域性，那么这种非定域性是否违背因果关系呢？我们改造了因果性概念，用事件之间的关系来定义因果性。本章具体探讨了在量子隐形传态过程中的因果性问题。量子控制仍然是一种因果控制。

第六章讨论量子控制的一些基本概念。简要考察了量子控制的起源，量子控制的两种基本形式：开环控制与闭环控制。讨论了量子控制系统的基本模型和建模。研究了状态或控制量都是线性的双线性系统。量子控制不同于经典控制，控制的对象、控制的机制与控制方法等都有很大的不同。

第七章讨论了基于量子信息的量子控制、量子控制系统的复杂性以及量子控制系统的哲学意义。在一定量子信息的作用下，将量子系统引向需要的目标态的过程，就是量子控制。量子控制的出现，揭示出系统论中的系统与状态关系的重要性。

第八章从量子算法与量子控制角度来讨论量子测量。由于有适当的量子算法（如格罗夫算法），建立的量子控制可以对量子测量进行某种程度的控制。量子控制的出现，让我们重新审视原来不可控制的量子测量过程，这表明量子测量在一定量子条件下也是可以控制的。

第九章讨论波函数的实在性问题。波函数是否是实在的，这是一个有争论的问题。但是，量子技术的兴起拓展了我们认识波函数实在性的新视野，波函数不仅是科学哲学问题，还是一个技术哲学问题。在本章我们提出了判断一个事物是否实在的三个标准，进而对波函数的实在性进行论证。波函数是实体与结构的统一，波函数这一实体本身又是潜在的，它是潜在的实体结构实在。

第十章主要讨论量子力学诠释的条件。首先对几种基本的量子力学诠释进行考察，然后讨论量子力学诠释所满足的条件。量子力学诠释应满足一致性与经验适当性，但是，这些条件还不足以选出好的量子力学解释。我们评述了维马斯的量子力学诠释的技术功能条件和工程草图条件，技术功能条件是一个可选择的条件。在我们看来，一个好的量子力学诠释应当满足信息条件。

第十一章讨论量子力学与现象学之间的相互关系。如果说现象学可以用于理解或启示量子力学，那么，这对于量子力学和量子信息理论的发展一定是有好处的。本章的目的在于通过量子力学来具体考察现象学的若干重要概念，审视其是否可以进入量子力学的世界，为量子现象学奠基。本章还包括

现象学对量子力学的测量所带来的启示。

第十二章从海德格的存在论差异角度来讨论波函数。在本章中，波函数作为存在（Being），它比存在者更原初。技术使得存在转化为存在者。量子技术使量子存在转化为量子实体（量子存在者），在这里，存在论差异就是量子技术，或者说，量子技术就是存在论意义上的存在论差异。但量子技术不能将量子存在者转化为经典存在者，还必须有经典技术，经典技术就是存在论意义上的存在者差异。量子技术与经典技术一起使量子存在转变为经典存在者（经典实体）。

第十三章讨论量子技术的实在问题。我们在前面章节已从两个角度讨论了波函数的实在性。本章首先简要介绍了量子力学中的科亨－施佩克定理，说明量子世界是否需要隐变量以及需要何种隐变量。然后讨论量子技术的实在问题。量子技术最终会表现为实体型量子技术。为此需要考察量子技术的实在与实体的关系，以及量子技术作为实在，它是以何种方式展示出来的。在我们看来，实在是真实的存在。对量子技术人工物来说，量子技术所体现的实在是要素实在、结构实在和功能实在的统一。量子技术人工物是为了实现其功能，而其要素与结构都是服务于其功能的。

第十四章讨论量子技术的认识论和目的性问题。我们原以为量子世界具有不确定性，但是，量子纠缠使这种不确定性可以在某种程度上被消除。我们通过现象学的还原方法来探讨量子技术的本质。量子技术的本质就是人的意向与量子结构的相互构成。量子技术总是渗透了人的目的，这种目的性可以通过反馈表现出来。量子技术的目的性是通过量子技术的设计、量子技术的控制等方面来实现的。

第十五章讨论了量子技术的逻辑和方法论问题。我们首先通过对双缝实验的分析，说明原有的经典逻辑无法解释量子力学的物理事实。量子逻辑不同于经典逻辑。量子逻辑门可以形成量子计算逻辑，这与量子逻辑是一个什么关系呢？从量子技术的形而上学基础来看，量子技术具有不同于经典技术的量子实在、量子存在、量子实体等因素。本章具体讨论了一些量子技术方法，在此基础上，从一般的层面讨论量子技术方法的系统性、意向性和逻辑基础等问题。

第十六章讨论量子资源问题。波函数描述了量子态，量子态就是量子系统的状态。量子态是一种重要的资源，它开辟了人类利用新资源的可能性。量子技术给人类实现生态文明提供了现实可能性。量子技术将引起量子技术革命，进而形成量子产业。

需要指出的是，笔者主持完成了广东省哲学社会科学“十五”规划2003—2004年度一般项目“量子信息的哲学研究”，接着主持完成教育部人

文社会科学研究 2006 年一般项目“量子控制论的哲学研究”。在此基础上，2010 年笔者获得了国家社会科学基金“当代量子技术的哲学研究”的资助，使我能够继续在量子信息、量子技术的道路上不断深入和开拓，并于 2015 年 6 月正式顺利结项。2011 年作为首席专家，笔者主持了教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“当代技术哲学的发展趋势研究”，这又使笔者的研究范围得到了更大的提升。

由于量子信息哲学、量子技术哲学正在兴起，因此，对量子技术哲学的讨论必然还有不成熟之处，本书的探讨只是追求真理道路上的一个故事，而且这个故事才刚刚开始。

如果能为量子技术哲学的进一步研究打一个坚实的基础，那么，这本著作的命运应当是相当好的了！本书难免存在疏漏之处，请批评指正并欢迎讨论。

目 录

第一章 量子技术的基础	1
第一节 量子力学基础	1
一、量子的诞生	1
二、微观粒子的基本性质	3
三、状态空间与狄拉克表示法	9
四、量子力学的基本假设	13
第二节 量子测量的基本问题	15
一、正交投影测量假说	15
二、广义测量假说	16
三、量子非破坏性测量	17
四、量子控制中的测量	18
五、量子芝诺效应与测量	19
第三节 量子信息理论基础	21
一、比特与量子比特	21
二、量子信息的含义	23
三、量子纠缠的含义	25
四、自发参量下转换：量子纠缠制备的一个例子	27
五、量子隐形传态的过程与分析	29
六、量子纠缠交换	32
七、开放目的隐形传态与超光速问题	34
八、量子信息在何种意义上超光速？	35
第四节 群	38
第五节 流形与李群	44
第二章 量子信息的哲学讨论	47
第一节 量子信息能否归结为经典信息？	47
第二节 量子信息的传递能归结为经典信息的传递吗？	52
第三节 只有认识论意义上的量子信息吗？	54
第四节 量子信息与量子实在的关系	58

第三章 量子技术的含义	62
第一节 技术含义的演变	62
第二节 量子技术的基本形式	64
第三节 量子技术与经典技术的联系与区别	67
第四节 对量子技术的哲学思考	69
一、量子技术是自主的吗？	69
二、量子技术与控制的关系	71
第四章 量子黑盒与量子计算及其意义	75
第一节 计算复杂性及其相关概念的含义	75
第二节 量子门的基本概念	80
一、一比特的基本逻辑门	81
二、两位门	82
三、三位 Toffoli 门	83
第三节 量子黑盒	84
一、多依奇 (Deutsch) 问题	84
二、Deutsch-Jozsa 问题的量子算法	86
三、Simon 问题	88
四、量子黑盒在格罗夫搜索算法中的作用	89
第四节 量子计算的基本特点	91
一、量子存储器具有巨大的存储能力	92
二、量子计算具有并行性	93
三、某些量子算法具有加速能力	95
第五节 量子计算的两点哲学意义	98
一、量子算法对克服计算复杂性的启示	98
二、量子计算对大数据的意义	102
第五章 非定域性、因果性与量子控制	104
第一节 非定域性概念	104
第二节 过程与事件：审视事物的新视角	110
第三节 马基模型和萨普斯模型	112
一、马基的 INUS 条件模型	113
二、萨普斯的概率模型	116
第四节 邦格的事件理论及因果状态空间模型	118
第五节 隐形传态过程的因果关系分析	121
第六节 关于因果性、非定域性与量子控制的几点讨论	123

第六章 量子控制的基本概念	126
第一节 量子控制论的源起	126
第二节 量子控制的基本形式	129
一、开环控制	130
二、闭环控制	132
第三节 量子控制系统的基本模型与建模	134
一、量子控制系统的基本模型	134
二、量子控制系统的建模	137
第四节 双线性系统与可控性	138
一、量子系统的有限维的双线性模型	138
二、(双线性系统的) 李代数	140
三、可控性概念	142
第五节 量子控制的特点	146
一、控制对象不同	146
二、控制系统中流动的信息不同	146
三、控制理论不同	147
四、反馈控制不同	147
五、控制系统与环境的关系不同	148
第七章 量子控制系统及其意义	149
第一节 本征态的可控性	149
一、本征态可控性的含义	149
二、本征态可控系统的开环控制	150
第二节 基于量子信息的量子控制	155
一、相干量子反馈	155
二、基于量子克隆与态识别的量子反馈控制	156
三、基于量子隐形传态的量子控制	159
第三节 量子控制系统的复杂性	160
一、量子控制系统的组成	160
二、量子控制系统的结构具有复杂性	161
三、量子控制系统具有不确定性	161
四、量子控制系统的信息具有非线性	162
五、量子控制系统具有开放性，它与环境会发生退相干	163
第四节 量子控制系统的哲学启示	164
一、量子控制的含义与结构	164
二、量子系统、状态与控制的关系	167

三、现实的量子信息的意义，都需要人对意义的赋予	171
四、量子测量对量子控制系统的影响	172
第八章 量子技术对量子力学测量问题的意义	173
第一节 量子系统的么正演化的特点	173
第二节 量子测量在一定程度上是可以控制的	176
第三节 量子控制的现象学意义	179
第九章 波函数的实在性分析	182
第一节 对波函数实在性的初步考察	182
第二节 量子控制要控制的是什么?	186
第三节 波函数是可控的	187
第四节 波函数是实体结构实在的	190
第十章 量子技术对量子力学诠释的作用	193
第一节 物理学诠释	193
一、从语义学科学观到整体科学观	194
二、物理学诠释	195
第二节 几种基本的量子力学诠释	197
一、哥本哈根诠释	197
二、玻姆量子势诠释	197
三、退相干诠释	200
四、模态诠释	200
五、多世界诠释	202
第三节 量子力学诠释的现象学还原	203
第四节 技术与量子力学诠释条件	205
一、维马斯的技术功能条件	206
二、量子隐形传态中的解码器	208
三、维马斯的工程图纸条件	210
第五节 量子力学诠释应当增加技术条件与信息条件吗?	210
一、是否需要技术条件选择量子力学诠释	211
二、是否需要增加信息条件?	213
第十一章 量子力学与现象学之间的相互启示	215
第一节 量子力学对现象学概念的思考	216
一、量子现象与现象学的现象	216

二、直观与量子现象	217
三、面对实事本身	218
四、自我与外部世界	221
五、对象与客体	222
六、几点评述	222
第二节 现象学与量子力学的测量解释	223
第三节 自我的作用及其对量子测量的启示	227
 第十二章 波函数的存在论分析	231
第一节 存在与存在论差异	231
第二节 波函数作为存在	234
第三节 从存在到存在者	237
第四节 存在与信息的关系	239
 第十三章 量子技术的存在论分析	241
第一节 有隐变量吗?	241
一、EPR 论证与贝尔不等式	241
二、科亨-施佩克定理	245
第二节 实在与实体：一个新视角	247
一、EPR 关联、延迟选择实验所揭示的实在与实体的关系	247
二、AB 效应所反映的实在与实体的关系	248
第三节 场与势谁更基本?	252
一、AB 效应与论争的问题	252
二、量子场论的基本思想	256
三、进一步讨论	257
第四节 结构实在论概要	260
一、认识的结构实在论	260
二、曹天予实体结构实在论	263
三、本体论的结构实在论	264
第五节 量子技术的实在问题	266
一、量子纠缠对量子技术的意义	266
二、量子技术的实在：结构、要素与功能实在的统一	268
 第十四章 量子技术的认识论与目的性问题	273
第一节 量子黑盒的认识论意义	273
第二节 量子信息与不确定性的关系	277

一、从经典信息到量子信息	277
二、量子纠缠的关联程度	279
三、量子信息是不确定性的消除	281
第三节 量子技术的本质是什么?	287
第四节 量子技术与目的性	292
第十五章 量子技术的逻辑与方法论分析	296
第一节 两种基本的量子逻辑	296
一、赖欣巴哈的三值量子逻辑	298
二、正交模格量子逻辑	302
第二节 量子逻辑门是量子逻辑的结果吗?	304
第三节 量子技术方法的一般考察	306
一、基于经典技术的量子技术方法	306
二、量子技术中的数学方法	307
三、量子技术中的纠缠方法	309
四、量子技术的模型方法	309
第四节 关于量子技术方法论的一点思考	311
一、量子技术方法的系统性	311
二、量子技术的意向性问题	311
三、量子技术方法的逻辑基础问题	313
四、量子技术的哲学基础	313
第十六章 量子态、量子资源与量子技术	314
第一节 量子态：一种量子资源	314
第二节 从技术自身审视生态技术	318
第三节 量子技术对于生态技术的意义	322
第四节 量子技术革命与量子产业	325
参考文献	327
索引	334
后记	341